ऊष्मागतिकी (Thermodynamics)

विज्ञान की वह शाखा जो ऊष्मा और यांत्रिक कार्य में परस्पर सम्बन्ध का वर्णन करती है, ऊष्मागतिकी कहलाती है,

ऊष्मागतिक निकाय (Thermodynamic System) :→ निश्चित सीमाओं से परिबद्ध बहुत अधिक संख्या में अणुओं या परमाणुओं का एक ऐसा संग्रह जिसका एक निश्चित दाब (P) आयतन (V) एवं ताप (T) हो, ऊष्मागतिक निकाय कहलाता है,

ऊष्मागतिक चर (Thermodynamic Variables) :— ऐसे चर जो ऊष्मागतिक निकाय का ऊष्मागतिक व्यवहार निर्धारित करते हों, ऊष्मागतिक चर कहलाते हैं,

ताप (T), दाब (P) तथा आयतन (V) ऊष्मागतिक चर हैं, अन्य चर जैसे - आन्तरिक ऊर्जा (U) एन्ट्रॉपी (S) आदि,

तापीय साम्य – (Thermal Equilibrium)

जब दो ऊष्मागतिक निकाय को एक दूसरे के सम्पर्क में रखने पर उनके बीच ऊष्मा का आदान प्रदान नहीं होता है तो वे तापीय साम्य में कहलाते हैं,

कार्य तथा ऊष्मा की तुल्यता (Equivalance of Work & Heat)

जूल ने प्रयोगों के आधार पर यह ज्ञात किया कि यदि कार्य की मात्रा को पूर्णतः ऊष्मा में बदलने पर उत्पन्न ऊष्मा की मात्रा Q हो तो

$$W \propto Q$$

$$W = JQ$$

जहाँ J समानुपाती नियतांक है, जो जूल का नियतांक या ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक कहलाता है,

$J = 4.18$ जूल/कैलोरी

1 कैलोरी = 4.18 जूल

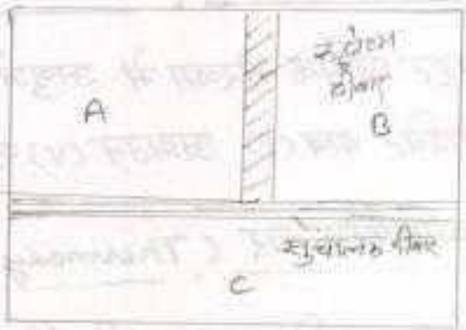
1 किलो कैलोरी = 4.18×10^3 जूल

ऊष्मागतिकी का शून्यांकी नियम (Zeroth Law of Thermodynamics)

इस नियम के अनुसार, "यदि दो ऊष्मागतिक निकाय किसी तीसरे ऊष्मागतिक निकाय के साथ अलग-अलग तापीय साम्य में हो तो वे परस्पर भी तापीय साम्य में होंगे,"

माना तीन निकाय A, B तथा C हैं, निकाय A तथा B रुद्धोष्म दीवार द्वारा पृथक्कृत हैं, तीसरा निकाय C निकायों A तथा B द्वारा सुचालक दीवार द्वारा पृथक्कृत है, निकाय A तथा निकाय C ऊष्मीय साम्य में होंगे तथा निकाय B, निकाय C के साथ ऊष्मीय साम्य में होगा, अतः निकाय A तथा निकाय B भी ऊष्मीय साम्य में होंगे,

ऊष्मा, कार्य और आन्तरिक ऊर्जा :- (Heat, work and Internal Energy)



ऊष्मा :- ऊष्मा वह ऊर्जा है जो किसी निकाय एवं इसके वातावरण के मध्य में स्थानान्तरित होती है, जब निकाय एवं इसके वातावरण के मध्य कोई तापान्तर हो,'

ऊष्मा के लिये चिह्न परिपाटी :-

(i) जब ऊष्मीय ऊर्जा किसी निकाय से इसके वातावरण में स्थानान्तरित होती है तो ऊष्मीय ऊर्जा को धनात्मक लिया जाता है,

(ii) जब ऊष्मीय ऊर्जा निकाय से वातावरण में स्थानान्तरित होती है तो ऊष्मीय ऊर्जा को ऋणात्मक लिया जाता है,

कार्य :- यदि कोई पिण्ड या निकाय आरोपित बल की दिशा में कुछ दूरी तक गति करता है तो कार्य किया जाता है,

माना एक सिलिण्डर जिसमे एक घर्षणहीन पिस्टन लगी है, सिलिण्डर में गैस भरी है, सिलिण्डर में उपस्थित गैस इसके वातावरण के साथ ताप T पर तापीय साम्य में है,

यदि सिलिण्डर में गैस का दाब P तथा पिस्टन का अनुप्रस्थ

कार का क्षेत्रफल A हो तो गैस द्वारा पिस्टन पर लगने वाला बल

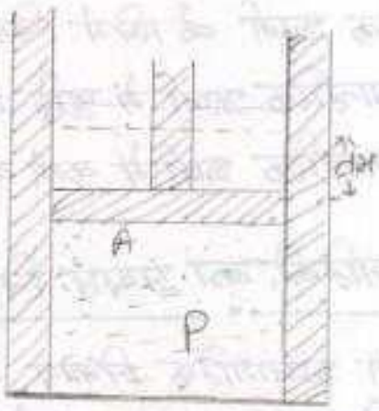
$$F = P \cdot A$$

माना पिस्टन गैस के प्रसार के दौरान अल्प दूरी dx तक गति करता है। अतः गैस द्वारा किया गया कार्य

$$dW = F \cdot dx$$
$$= P \cdot A \cdot dx$$

$\because$ $A \cdot dx = dV$ (आयतन में परिवर्तन/वृद्धि)

$\therefore$ $dW = P \cdot dV$ - - - ①



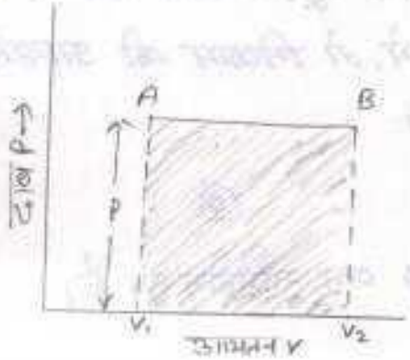
यदि गैस का प्रारम्भिक आयतन V_1 से बढ़कर अन्तिम आयतन V_2 हो जाता है, तो निकाय या गैस द्वारा किये गये कुल कार्य की गणना सभी① को सीमा $V = V_1$ से $V = V_2$ तक समाकलित करने पर

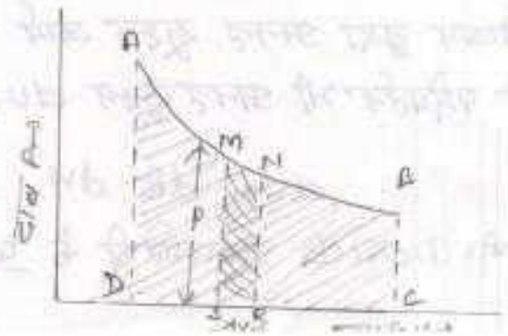
$$\int dW = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

$$W = P \int_{V_1}^{V_2} dV$$

$$W = P(V_2 - V_1) \quad - - \quad ②$$

परन्तु $P(V_2 - V_1)$, P-V ग्राफ में रेखा AB के नीचे V_1 तथा V_2 के बीच छायांकित क्षेत्रफल है। इस क्षेत्रफल को नापकर भी सीधे गैस द्वारा किया गया कार्य ज्ञात किया जा सकता है,





कार्य के लिये चिह्न परिपाटियाँ :-

(i) निकाय (या गैस) पर किया गया कार्य धनात्मक लिया जाता है,

(ii) निकाय (या गैस) द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक लिया जाता है,

आन्तरिक ऊर्जा :- किसी निकाय की आन्तरिक ऊर्जा निकाय के अवयवी कणों की गतिज ऊर्जाओं का योग एवं निकाय के अवयवी कणों की स्थितिज ऊर्जाओं के योग का योग होती है, इसे U द्वारा प्रदर्शित किया जाता है,

आन्तरिक ऊर्जा U = निकाय के अवयवी कणों की (गतिज ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा)

आन्तरिक ऊर्जा के लिये चिह्न परिपाटियाँ :-

(i) आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि को धनात्मक लिया जाता है,

(ii) आन्तरिक ऊर्जा में कमी को ऋणात्मक लिया जाता है,

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम :- (First Law of Thermodynamics)

किसी ऊष्मागतिक निकाय को दी गयी ऊष्मा (Q) दो भागों में प्रयुक्त होती है.

(i) निकाय द्वारा बाह्य दाब के विरुद्ध कार्य (W) करने में एवं

(ii) निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन (ΔU) करने में,

अर्थात्

$$Q = \Delta U + W$$

$$\Delta U = Q - W \quad \text{- - - -} \quad (1)$$

यदि निकाय की दो अवस्थाऐं A तथा B में आन्तरिक ऊर्जाऐं U_A तथा U_B हों, तब आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन

$$\Delta U = U_B - U_A$$

यदि किसी प्रक्रम में निकाय को अनन्त सूक्ष्म ऊर्जा dQ दी जाये तथा निकाय द्वारा अनन्त सूक्ष्म कार्य किया जाये, तो निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन भी अनन्त सूक्ष्म dU होगा, तब

$$dU = dQ - dW \quad \text{- - -} \quad (2)$$

समी० (1) तथा (2) ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का गणितीय रूप है,

इस प्रकार ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊर्जा संरक्षण के नियम का ही एक रूप है,

नोट ऊष्मागतिक समी० का उपयोग करते समय निम्न बातें ध्यान रखनी चाहिये

(1) ΔU, θ तथा W तीनों राशियां एक ही मात्रक में ली जानी चाहिये,

(2) यदि ऊष्मा निकाय द्वारा ली गयी तो θ धनात्मक और यदि निकाय द्वारा दी गयी है तो θ ऋणात्मक होगा

(3) यदि कार्य निकाय द्वारा किया गया है तो W धनात्मक और यदि कार्य निकाय पर किया गया है तो W ऋणात्मक होगा,

(4) आन्तरिक ऊर्जा वृद्धि पर ΔU धनात्मक और यदि कमी तो ΔU ऋणात्मक होगा।

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुप्रयोग :-

(1) समतापीय प्रक्रम (Isothermal Process) :- वह प्रक्रम जिसमें किसी निकाय के दाब और आयतन में, नियत ताप पर परिवर्तन होता है, समतापी प्रक्रम कहलाता है,

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियमानुसार

$$\theta = \Delta U + W$$

∵ समतापी प्रक्रम में ताप नियत रहता है, अर्थात $\Delta T = 0$.

परन्तु आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा केवल ताप पर निर्भर करती है, समतापी प्रक्रम में आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होगा अर्थात $\Delta U = 0$

$$\therefore \boxed{\theta = W}$$

अतः किसी आदर्श गैस के समतापी प्रक्रम में गैस द्वारा ली दी गयी समस्त ऊष्मा, उसके द्वारा वाह्य दाब के विरुद्ध कार्य करने में व्यय हो जाती है।

(2) रुद्धोष्म प्रक्रम (Adiabatic Process) :- जब ऊष्मागतिक निकाय में होने वाले किसी प्रक्रम के अन्तर्गत ऊष्मा न तो बाहर से निकाय के अन्दर जा सके और न ही ऊष्मा निकाय से बाहर जा सके, ऐसे प्रक्रम को रुद्धोष्म प्रक्रम कहते हैं,

i.e $[\theta = 0]$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q = \Delta U + W$$

रुद्धोष्म प्रक्रम में $Q = 0$

$$\therefore \quad 0 = \Delta U + W$$

$$\boxed{\Delta U = -W}$$

अतः यदि निकाय द्वारा रुद्धोष्म विधि से कार्य किया जाता है तो निकाय की आन्तरिक ऊर्जा के मान में कमी आ जाती है, जो निकाय द्वारा किये गये कार्य के बराबर होती है,

यदि निकाय पर कार्य किया जाता है (अर्थात् W = ऋणात्मक है) तो

$$\Delta U = -(-W) = W$$

अतः यदि निकाय पर रुद्धोष्म विधि से कार्य किया जाता है तो निकाय की आन्तरिक ऊर्जा बढ़ जाती है, जो निकाय पर किये गये कार्य के बराबर होती है,

(3) समआयतनिक प्रक्रम (Isochoric Process) :→ यदि किसी निकाय में होने वाले किसी प्रक्रम के दौरान आयतन स्थिर रहे तो ऐसे प्रक्रम को समआयतनिक प्रक्रम कहते हैं,

इस प्रक्रम में $\Delta V = 0$

$$\because \quad W = P\Delta V = P \cdot 0 = 0$$

अर्थात् निकाय में कोई कार्य भी नहीं किया जाता,

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = \Delta U + 0$$

$$\boxed{Q = \Delta U}$$

अतः ऐसे प्रक्रम में निकाय को दी गयी समस्त ऊष्मा निकाय की आन्तरिक ऊर्जा वृद्धि करने में व्यय हो जाती है,

(4) चक्रीय प्रक्रम (Cyclic Process) :- जब कोई निकाय विभिन्न अवस्थाओं में से गुजरता हुआ पुनः अपनी प्रारम्भिक अवस्था में लौट आता है, तो इसे चक्रीय प्रक्रम कहते हैं,

इस प्रक्रम में निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता अर्थात् $\Delta U = 0$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = W \quad (\because \Delta U = 0)$$

अतः चक्रीय प्रक्रम में किसी निकाय को दी गयी ऊष्मा निकाय द्वारा किये गये नेट कार्य के बराबर होती है,

(5) विलग निकाय (Isolated System) :- यदि कोई निकाय न तो कोई कार्य कर सकता है और न ही बाहर से ऊष्मा का आदान प्रदान कर सकता हो, तो उसे विलग निकाय कहते हैं,

विलग निकाय के लिये $Q = 0$ तथा $W = 0$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q = \Delta U + W$$

$$0 = \Delta U + 0$$

$$\Delta U = 0 \Rightarrow U = \text{नियत}$$

अतः विलग निकाय की आन्तरिक ऊर्जा नियत रहती है,

(6) समदाबी प्रक्रम (Isobaric Process) :- यदि किसी निकाय में होने वाले किसी प्रक्रम के अन्तर्गत निकाय का दाब स्थिर रहे तो ऐसे प्रक्रम को समदाबी प्रक्रम कहते हैं,

जैसे- जल से भाप में परिवर्तन, जल का बर्फ में बदलना आदि समदाबी प्रक्रम हैं,

(A) जल का भाप में परिवर्तन :- माना m द्रव्यमान का जल एक नियत ताप (क्वथनांक) तथा नियत दाब पर गैसीय (भाप) अवस्था में बदलता है,

इस प्रक्रम में द्रव द्वारा ली गयी ऊष्मा

$$Q = mL$$

जहाँ L वाष्पन की गुप्त ऊष्मा है, द्रव का वाष्प बनने पर आयतन बढ़ता है, माना द्रव का आयतन V_1 है तथा इसमें बनी वाष्प का आयतन V_2 है तब द्रव द्वारा आयतन V_1 से आयतन V_2 तक फैलने में नियत दाब P के विरुद्ध किया गया कार्य

$$W = P \times \Delta V = P(V_2 - V_1)$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q = \Delta U + W$$

$$mL = \Delta U + P(V_2 - V_1)$$

अतः किसी द्रव को वाष्प में बदलने के लिये दी गयी ऊष्मा का कुछ भाग आन्तरिक ऊर्जा बढ़ाने में तथा शेष भाग वाह्य दाब के विरुद्ध कार्य करने में व्यय होता है, पहले भाग को 'आन्तरिक गुप्त ऊष्मा' तथा दूसरे भाग को वाह्य गुप्त ऊष्मा कहते हैं,

(B) जल का बर्फ जमना :- माना m द्रव्यमान जल जमकर बर्फ में बदलता है, इस प्रक्रम में जल द्वारा दी गयी ऊष्मा

$$Q = -mL$$

जहाँ L जल की गुप्त ऊष्मा है, इस प्रक्रम में जल ऊष्मा देता है अतः Q ऋणात्मक होगा,

जल के जमने में आयतन में वृद्धि होती है, जिससे जमने के दौरान जल को वाह्य वायुमण्डल के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है, यदि वायुमण्डल का दाब P हो तथा जल के आयतन में वृद्धि ΔV हो तो जल द्वारा किया गया कार्य

$$W = P \times \Delta V$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q = \Delta U + W$$

$$-mL = \Delta U + P \cdot \Delta V$$

$$\Delta U = -mL - P \cdot \Delta V$$

$$\Delta U = -(mL + P \cdot \Delta V)$$

अतः ΔU ऋणात्मक है, अतः जल के जमने पर इसकी आन्तरिक ऊर्जा घट जाती है, आन्तरिक ऊर्जा में यह कमी जल द्वारा जमने में दी गयी ऊष्मा से अधिक होती है,

(ग) मुक्त प्रसार (Free Expansion) ↦ यदि कोई गैस अचानक निर्वात में प्रसारित होती है तो गैस का प्रसार मुक्त प्रसार कहलाता है, मुक्त प्रसार एक रुद्धोष्म प्रक्रम है, अर्थात् $Q=0$, निर्वात में गैस के प्रसारित होने के कारण ($P=0$) अर्थात् वाह्य दाब शून्य होने के कारण निकाय द्वारा किया गया कार्य

$$W = P \cdot \Delta V = 0$$

∴ ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से

$$Q = \Delta U + W$$

$$0 = \Delta U + 0$$

$$\therefore \Delta U = 0$$

अर्थात् U = नियतांक

अतः मुक्त प्रसार में गैस की आन्तरिक ऊर्जा नियत रहती है,

By –
B.C. Sharma
Lect (Phy.)
G.I.C. Sheilkumari
Pithoragarh